PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number:

2002-324913

(43)Date of publication of application: 08.11.2002

(51)Int.CI.

H01L 33/00 H01L 21/205 H01S 5/323

(21)Application number: 2001-127209

25.04.2001

(71)Applicant:

RICOH CO LTD

(72)Inventor:

IWATA HIROKAZU SARAYAMA SHOJI

MIKI TAKESHI

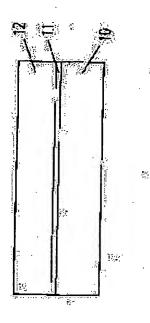
(54) III NITRIDE SEMICONDUCTOR AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME, AND SEMICONDUCTOR DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

(22)Date of filing:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a III nitride semiconductor which has higher carrier concentration and higher quality than the conventional one.

SOLUTION: On a sapphire substrate 10, a low-temperature GaN buffer layer 11 and a p-type AlxGa(1-x)N (0≤x≤1) layer 12 as the III nitride semiconductor are stacked in this order. The p-type AlxGa(1-x)N (0≤x≤1) layer 12 is, for example, a p-type Al0.08Ga0.92N layer where x=0.08. The p-type Al0.08 Ga0.92N layer 12 includes Mg(magnesium) which is a p-type impurity and B(boron), each in a quantity of about 8 × 1019 cm-3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(18) 日本図格群庁 (JP)

公被(4) 盐 华 噩 (II) 公

特開2002-324913 (11) 特許出國公開番号

平成14年11月8日(2002.11.8) (P2002-324913A) (43)公開日

(教教)・1-12-4		21/205 5 F 0 4 5	610	
F I	HOIL		H01S	
數別配号			610	
Ulnt.Cl.7	H01L 33/00	21/205	H01S 5/323	

E

審査請求 未請求 請求項の数13 01 (全 25 頁)

(21) 田蘭泰母	传载2001-127209(P2001-127209)	(71) 出題人 00006747	000006747
			株式会社リコー
(22)出版日	平成13年4月25日(2001.4.25)		東京都大田区中周込1丁目3番6号
		(72) 発明者	が田 裕和
			東京都大田区中周込1丁目3番6号 株式
			会社リコー内
		(72) 発明者	11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11
			東京都大田区中馬込1丁目3番6号 株式
			会社リコー内
		(74)代理人 100090240	100090240
			弁理士 値本 器池
			最終可に続く

(54) 【発明の名称】 111 被望化物半導体およびその作製方法および半導体装置およびその作製方法

[牒題] 従来よりもキャリア歳度が高くかつ高品質の 二族鑑化物半導体を提供する。

サファイア基板10上には、低温GaN 1, G a (1-x) N (0≤×≤1) 雇12が順次に積層され 層12は、例えばx=0.08のp型A10.08Ga0.91 N層である。そして、p型A10.06Ga0.02N層12に は、p型不純物のMg(マグネシウム)と同時にB(ボ ロン) が含まれている。ここで、MgとBは、ともに8 ている。ここで、p型AlxGa(1-x)N (0≦x≦1) パッファー層11、III 族強化物半導体としてのp型A [解決手段]

×1019cm-3程度含まれている。



特許請求の範囲】

|静水項1] Mgが添加されたp型AlxGa(I-x)N (0≤×≤1) には、Mgと同時にBが添加されている (0≤×≤1) において、前配p型A1rGa(1-x)N

む半導体積層構造を有していることを特徴とする半導体 [静水頃2] 静水頃1記載の|||族鑑化物半導体を含 ことを特徴とするIII族蛮化物半導体。

剛オーミック電極を形成するコンタクト層に請求項1記 糖水項2配数の半導体装置において、p 蚊のIII 族蜜化物半導体を用いることを特徴とする半導 [辦水項3]

2

請求項2または請求項3配載の半導体装 置において、該半導体装置は半導体発光素子であること を特徴とする半導体装置。 [請求項4]

【請求項5】 請求項4記載の半導体装置において、前 6件資体発光数子は半導体レーザー数子であることを特 数とする半導体装置。

置において、前記半導体発光紫子は、発光波長が400 【静水頃7】 静水頃5記歳の半導体装置において、半 【請求項6】 請求項4または請求項5記載の半導体装 nm以下であることを特徴とする半導体装置。

1つのp-n接合を有していることを特徴とする半導体 幕体装置としての半導体レーザー繋子は、鯖水頃1 記載 の111該窒化物半導体をクラッド層に用いた少なくとも

の冷却を、窒素原料を含む冷却雰囲気で行うことを特徴 1×G a (1-x) N (0 S×≦1) を、木葉ガスを含む反応 **系で枯晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長恒度から** 【静水項8】 Mgと同時にBが添加されているp型A とする111族選化物半導体の作製方法。

製方法において、冷却雰囲気中に含まれる強緊原料はN Haであることを特徴とするIII族蜜化物半導体の作製方 「翳水風 9 】 翳水風 8 記載の 二版 3 に 8 半導体の 作

[請求項10] Mgと同時にBが添加されているp型 A 1 x G a (1-x) N (0≦×≦1)を、水築ガスを含む反 **応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長恒度か** 5の冷却を、NH3の冷却雰囲気で行なうことを特徴と する|||族蜜化物半導体の作製方法。 【酵水項11】 Mgと同時にBが添加されているp型 A 1 x G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1)を含む半導体積層構造 直後の結晶成長温度からの冷却を、鑑験原料を含む雰囲 を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長 気で行うことを特徴とする半導体装置の作製方法。

[請求項13] Mgと同時にBが添加されているp型 【請求項12】 請求項11記載の半導体装置の作製方 法において、 治力特国気中に含まれる強素原料はNH3 であることを特徴とする半導体装置の作製方法。

帝国2002-324913

ଷ

を、水業ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶成長 直後の結晶成長温度からの冷却を、NH3の冷却雰囲気 で行なうことを特徴とする半導体装置の作製方法。 (発明の詳細な説明)

【発明の属する技術分野】本発明は、DVDやCD等の **光ピックアップ用光쟁,電子写真用の書き込み光弧,光** 通信用光頭、紫外線センサー,高温動作トランジスター 等に利用される111族蛮化物半導体およびその作製方法 および半導体装置およびその作製方法に関する。

[0002]

Nバッファー層を用いた結晶成長技術の向上と、水森パ って低抵抗化する技術が見出され、高輝度の青色LED 【従来の技術】従来、青色のLEDは赤色や緑色のLE 年、一般式InAlGaNで扱されるIII族強化物半導 体において、低温AINパッファー層あるいは低温Ga **ツベーションによった高柘抗化した。型層を敷処理によ** Dに比べて輝度が小さく実用化に離点があったが、近

Nの低抵抗化の研究が進み、種々の機業がなされ、低出 力(数mM)ではあるが、窒温近傍で連続発版する紫色 【0003】その後、更なる結晶性の向上と、p型Ga 半導体レーザーが実用化された。 20

が実用化された。

【0004】以上のように、Ⅲ核蛮化物半導体装置の 開発を行う上で、p型111族窒化物の作製技術は重要な 基本技術となっている。

て、水繋をキャリアガスとして使用するMOCVD等の **宿舎し、 p型不純物を不活性化してしまうため、水穀を** 含む雰囲気での結晶成長や、水素ガス中や水器を生成す るガス中で熱処理を行った場合には高抵抗化する。従っ [0005] p型III族選化物は、p型不純物と水繋が 方法では、p型III族強化物をas-grown (熟処 理等の特別な後処理を行わない結晶成長したままの状 2

oでp型化する第1の作製方法と、結晶成長の工程を工 【0006】 p型III 族蛮化物を作戦するための方法と しては、高抵抗化した三二族蛮化物に特別な処理を行な **夹することによってp型!!! 核強化物を作製する第2の** 版)で作製することは困難であった。 作製方法とに大別される。

めの特別な処理に関しては、特別平5-183189号 で、熟処理を行い、結晶中に含まれる水祭の一部を結晶 【0001】上記第1の作製方法において、p型化のた 外へ拡散排出し、低抵抗のp型にする方法が投案されて (以下、従来技術1という) には、水繋や水繋を生成す る水素化物のガス (NH3等)を含まない雰囲気ガス中 9

[0008] あるいは、特開平3-218625号(以 照射し、結晶中に含まれる水業とp型不純物の結合を切 下、従来技術2という)には、低エネルギーの亀子線を って低抵抗のp型にする方法が提案されている。

ટ

A 1 x G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1)を含む半導体積層構造

[0010]また、結晶成長を水素ガスを含まない系で るMBE性である。これらの方法では、as-grow n (結晶成長したのみで、p型化の特別な処理をしてい 行う方法も採られている。これは窒素をキャリアガスに 使用したMOCVD法や、水素を含まない原料を使用す ない状態)でp型GaNが得られることが知られてい

cm-3~3×10½ cm-3の範囲でドーピングしてp型 451号 (以下、従来技術4という) には、[nxAly とによって、その上に成長するp型GaN層の歪みを緩 和して結晶性の悪化を防ぐことで、as-grownで 1011 c m-3のキャリア濃度のp型G a Nを作製してい [0011]また、別の方法として、特開平6-232 (0<×<1,0≤y<1) 層を機衡層として用いるこ GaNEMgを3×1020cm-3ドーピングして、5× Ga(1-x-y)N, (0<x<1, 0≦y<1) で数され るIII族窒化物層を成長させた後に、Mgを1×1017 p型GaNを作製するものである。この方法によれば、 [0012] この方法は、InxAlyGa(1-x-y)N,

[0013] 現在、以上のような方法で、p型III族蜜 **化物半単体は作製されている。**

[0014] 高い電流密度を必要とする発光素子等に使 **導体は、前述したような方法でp型化してもキャリア畿** 度は低い。例えば、半導体レーザーのクラッド層に使用 されるAIGaNでは、キャリア濃度が1011cm-3を 用されるp型III核選化物半導体には高いキャリア濃度 が要求されるが、パンドギャップの広い川抜簧化物半 組えるものを作製することは容易ではない。

BeとSiを2:1、あるいはBeとOを2:1の比率 でG a Nに 1 0 tg c m-1~1 0 tg c m-3程度同時ドービ ングして、高キャリア濃度のp型GaNを作製する方法 [0015] これを解決する方法として、特別平10-とSiを2:1. あるいはMgとOを2:1, あるいは 101496号 (以下、従来技術5という) には、Mg が開示されている。

\$

より実効的なキャリア濃度を高める方法が提案されてお [0016]また、GaN/AIGaNの超格子構造に り、それをクラッド層に適用した半導体レーザが作製さ

従来技術6という)に示されている半導体レーザを示す [0017] 図19は特開平11-4048号 (以下、 図である。図19を容照すると、この半導体レーザは、 13

2

サファイア基板上に選択成長とラテラル成長を組み合わ Nより成るn図光ガイド層164、Ino.05Gao.95N せて成長したGaN厚膜をサファイア基板から分離して 作製されたGaN基板160の上に、n型GaNより成 68、p型GaNからなるp側コンタクト層169が順 5第2のバッファー層161、n型1no.1Gao.gNよ GaN超格子より成るn側クラッド層163、n型Ga 0.2G a 0.8N / G.a N超格子より成るp 側クラッド層 1 り成るクラック防止層162、n型A 10.2G ao.8 Nノ P型A 10.3G a0.1Nより成るp側キャップ層166、 / Ino.1Gao.aN多重量子井戸構造の活性層165、 p型GaNからなるp側光ガイド層167、p型A1 **次に積層されて積層構造として形成されている。** 2

[0018] そして、p側コンタクト層169、p側ク ラッド層168の一部をドライエッチングして、幅4μ プ上にはp 回電極170が形成され、n型GaN基板1 60の裏面には、n回電極171が形成されている。レ mのリッジストライプを形成している。リッジストライ 一ザー共振路端面はn型GaN基板160のM面をへき 関することで形成されている。

をとることによって、奥効的なキャリア濃度を増加させ **ア機関の高いGaNとA10.1Ga0.8Nとの超格子構造** [0019] ここで、p型クラッド層168は、キャリ

[0000]

[発明が解決しようとする課題] 前並したように、低格 イギード, 府出力 (数nm) の独向斗灣存フーナーしか 実用化されておらず、その後の精力的な研究関発にもか 00mmより短い紫外倒板で発光する発光ダイオードや 半導体レーザー、もろいは紫外殻長倒域に戴関格柱を有 かわらず、萬出力動作する奥用的な紫色ワーザーや、4 抗の p 型III 族蜜化物半導体を作製することは難しいた め、111族窒化物半導体を使用した、高輝度青色発光ダ する実用的な受光素子は実用化されていない。

が高いために、動作亀圧の増加や、大亀流動作時の発熱 【0021】例えば、半導体レーザーの場合には、未だ p型クラッド層の抵抗やp側オーミック電極の接触抵抗 を招き、高出力動作するものが実用化されていない。ま た、紫外波長領域で使用する発光素子あるいは受光素子 の場合は、p型AIGaN層のAI組成比が大きくなる に従い、高抵抗化するため、紫外故長領域での発光素子 や受光素子は実用化されていない。

【0022】また、実用化された低出力の紫色半導体1 ーザーも製造コストが高いものとなっている。

って結晶外部へ排出させる方法のため、木業を含まない 法は、p型不純物を不活性化している水素を熱処理によ る。しかしながら、この雰囲気においては、蜜素分子か [0024] 従来技術1の111核策化物半導体の5型化 雰囲気、一般的には窒素ガス雰囲気で熱処理が行われ [0023]以下、従来技術の問題点を説明する。

に、オーミック接触抵抗が大きくなる等の不具合が生じ ために、700℃を超える高温では結晶表面の分解が起 り、安面抵抗が大きくなるなど、特性の劣化が生じる場 ることがある。また、 p型化の熱処理工程を必要とする ため、製造工程の増加と熱処理設備が必要となり、工業 らなる窒素ガスは111族窒化物の生成原料にはならない 合があった。これは、結晶表面に電極を形成する場合 的にコストがかかる。

しないので、コスト的には低くできるが、1000℃程 度の結晶成長温度から室櫺までの降温を窒棄ガスや不括 結晶表面の分解が起り、表面抵抗が大きくなるなど、特 [0025]また、従来技術3は、熱処理工程を必要と 性ガスのみの雰囲気で行うので、従来技術1と同様に、 性の劣化が生じる場合があった。

2

【0026】また、従来技術2の低エネルギー電子線照 射は、電子線の優入深さが浅く、結晶表面近傍しかp型 化できないことと、電子線を一度に照射できる面積が狭 いために、ウエハー全面をp型化するには時間がかか り、工業的にコストがかかりすぎる。

提供することを目的としている。

[0027]また、従来技術4の方法、すなわち、Ins されるIII族蛮化物層を成長させた後にMgを1×10 17 c m-3~1×1020 c m-3の偽田でドーピングしてp 型GBNを作製する方法では、直上の結晶層の鈕みが綴 和され、p型特性を示すが、多層構造を形成する場合に そのため、デバイス設計の自由度が少ないという問題が ある。さらに、AIGaNの場合には、as—grow nでは高キャリア撤貨のものは得られにくく、戦処理等 A],Ga(:-x-y)N, (0<x<1, 0≦y<1) 改物 は、層厚が厚くなるに従い、その効果が薄れてしまう。 の後処理がやはり必要である。

り、成長速度が遅く、MOCVD法ほどには量産には向 [0028] 水薬を含まない雰囲気での結晶成長方法に 関しては、まず、MBE法では、高真空中で結晶成長を 行うため窒素の解離による欠陥が形成される等、高品質 な結晶成長が行いにくい。また、窒素の供給に課題があ

ピングして、高キャリア濃度のp型GaNを作製する方 法では、ドーピング書を増やすに従い、 数面モフォロジ 一が悪くなるため、半導体レーザーのような平坦な導数 【0029】一方、MBE法と同様に水素を極力含まな しいものしか成長できず、結晶性の良いものは成長でき なかった。すなわち、水素を含まない雰囲気では髙品質 とSiを2:1、あるいはMBとOを2:1、あるいは BeとSiを2:1、あるいはBeとOを2:1の比率 で、GaNに1019cm-3~1020cm-3程度同時ドー 本願の発明者によるGaNの実験では、表面の凹凸が激 【0030】また、従来技術5の方法、すなわち、Mg い雰囲気でMOCVD法により結晶成長を行った場合、 路構造を必要とするデバイスを作数するには難があっ のp型GaNを成長できる条件が狭いと考えられる。

€

【0031】また、従来技術6の半導体レーザでは、

特別2002-324913

型A 10.2G a 0.8 N / G a N 組格子を使用して p 型クラ ッド層のキャリア濃度を実効的に増加させているが、超 格子構造を作製するための結晶成長プロセスと装置が必 要となることから、結晶成長に要する時間と装置コスト がかかり、半導体レーザーが萬価なものとなる。

[0032]また、p型GaNのキャリア濃度が1018

cm-3以下と十分高くないので、p型A 10.2G ao.eN /GaN組格子の実効キャリア濃度も高出力半導体レー ザーを実用化するには十分とはいえず、キャリア邀度の [0033] 本発明は、上述した従来技術の問題点を解 決することを目的としている。 すなわち、従来よりもキ びその作製方法および半導体装置およびその作製方法を ナリア養度が高くかつ高品質の111 族蛮化物半導体およ 高いp型AIGaNが必要とされる。

[課題を解決するための手段] 上記目的を達成するため に、請求項1記載の発明は、Mgが添加されたp型A1 Ga(!-x)N (0≤x≤1)には、Mgと同時にBが欲 *Ga(1-*)N (0≦×≦1) において、前記p型A1* [0034]

20

【0035】また、請求項2記載の発明は、請求項1記 載のIII族蛮化物半導体を含む半導体積層構造を有して 怕されていることを称徴としている。 いることを特徴としている。

[0036] また、請求項3記載の発明は、請求項2記 戦の半導体装置において、p側オーミック電極を形成す るコンタクト層に請求項1記載の111鉄盤化物半導体を

[0037]また、請求項4記載の発明は、請求項2ま たは請求項3記載の半導体装置において、該半導体装置 は半導体発光素子であることを特徴としている。 用いることを特徴としている。

[0038]また、請求項5記載の発明は、請求項4記 載の半導体装置において、前記半導体発光素子は半導体 レーザー業子であることを答散としている。

[0039]また、請求項6記載の発明は、請求項4ま たは請求項5記載の半導体装置において、前記半導体発 光素子は、発光液長が400mm以下であることを特徴

[0040]また、請求項7記載の発明は、請求項5記 ラッド層に用いた少なくとも 1 つの p ー n 接合を有して 数の半導体装置において、半導体装置としての半導体レ 一ザー素子は、請求項1記載の111該窒化物半導体をク いることを特徴としている。 としている。 Ş

成長直後の結晶成長温度からの冷却を、蜜素原料を含む 【0041】また、請求項8記載の発明は、Mgと同時 にBが添加されているp型A 1.Ga(1-x)N (0≦x≦ 1)を、水素ガスを含む反応系で結晶成長し、その結晶 冷却雰囲気で行うことを特徴としている。

-

≦1)を、水衆ガスを含む反応系で結晶成長し、その結 [0043] また、請水項10記載の発明は、Mgと同 時にBが添加されているp型A1xGa(1-x)N (0≦x 皛成長近後の結晶成長温度からの冷却を、NH3の冷却 雰囲気で行なうことを特徴としている。

[0044]また、請求項11記載の発明は、Mgと同 時にBが抵加されているp型AlrGa(1-x)N(05x ≤1)を含む半導体積層構造を、水素ガスを含む反応系 で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの 冷却を、弦楽原料を含む雰囲気で行うことを特徴として

01

1 記載の半導体装置の作製方法において、冷却雰囲気中 [0045]また、請求項12記載の発明は、請求項1 に含まれる窒素原料はNH3であることを物徴としてい [0046]また、請求項13記載の発用は、Mgと同 時にBが添加されているp型A1rGa(1-r)N (0≦x ≤1)を含む半導体積層構造を、水素ガスを含む反応系 で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの 冷却を、NH3の冷却雰囲気で行なうことを特徴として

[0047]

キャリア潑庻を制御して作製している。なお、p型不純 8 (マグネシウム) が密加されたp型A1xGa(1-x)N する場合には、p型不純物を適量添加することで、その 【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態を図面に (0≦×≦1) には、Mg (マグネシウム) と同時にB 描るいた説明する。本発明のIII 核蜜化物半導体は、M 【0048】一般的に、p型III核強化物半導体を作製 (0≦×≦1) において、このp型A1rGa(1-x)N (ボロン) が添加されていることを特徴としている。 物としては一般的にMgが使用される。

8

ャリア潑庻は1018cm-3以下と低いものしか作製でき 型不純物の活性化率は~1%と低いため、p型不純物を ~1020cm-1程度まで添加しても、p型GaNで、キ [0049] しかしながら、III核強化物半導体中のp

【0050】 さらに、AIGaN韓のワイドギャップ半 導体になると、キャリア激度はさらに低下し、高抵抗化 【0051】また、p型不萬物のドーピング曲が~10 20 c m-3 を超えると、表面モフォロジーが悪くなり、逆 に商柄抗化してしまう。 [0052] AlxGa(1-x)N (05×≦1) 結晶に敬 加されたp型不純物(一般にはMgが使用)はGaある いはAIを囮換して川族元器サイトを占める。

[0053] しかるに、MgはGa, A1に比較してサ り、Mgには排除しようとする力が作用して、高濃度の 格子間位置に入り、その結果、ドナーとして働く。すな わち、キャリア濃度を高めようとして、高濃度にMgを T機度が減少してしまうため、高キャリア機度の p型A は、このサイズの違いによって、結晶全体が不安定にな **飯加すると、逆に、結晶性が悪化するとともに、キャリ** イズが大きいため、Mgが添加されたAIGaN結晶 MgはIII族原子サイトを占めることができなくなり、 1xGa(1-x)N (0≤x≤1) は得られない。

【0054】これに対し、本発明のように、Mgと同時 キャリア徹度の減少が起らず、高いキャリア徹度のもの !!-*! N (0≤×≤1) は、南磯度にMgを添加しても に、B(ボロン)を裕加して枯晶成長したAliGa が得られる。

キャリア強度のp型A1xGa(1-x)N (0≦x≦1) が 【0055】その理由は、Ga, A1に比較してサイズ の小さいBがMgと同時に衒加されることによって、M トに入ることが可能になり、その結果、従来にない高い Bによる結晶の不安定化が緩和され、MgがIII抜サイ 得られると考えられる。

2

ゲーであれば、AIGaNのパンドギャップや阻折率を 大きく変化させることはないので、AIGaNとして取 [0056] なお、Bの磁加量は、10^{20 cm-3}のオー り扱うことができる。

第1の作製方社として、Mgと同時にBが添加されてい るp型A 1 r G a (1-x) N (0 S x S 1) を、水繋ガスを 含む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長 温度からの冷却を、強禁原料を含む冷却雰囲気で行うよ 【0057】また、本発明では、||| 膝嚢化物半導体の うにしている。 [0058] ここで、冷却雰囲気としては、鎖繋、ある これらに数%の水素を含む混合ガス、あるいは、窒素原 料ガスのみ、あるいは、蜜素原料ガスと水薬の准合ガス いは、不活性ガスと窒素原料との混合ガス、あるいは、 雰囲気を使用することができる。

[0059] この第1の作数方法によれば、MgとBを (0≤×≤1)の結晶成長と、前述した選紮原料を含む 雰囲気ガス中での冷却を組み合わせることで、従来難し かったA1xGa(1-x)N (0≤x≤1) のp型結晶がa 司時に務加しての高キャリア議度のA 1x G a (1-x) N sーgrownで得られる。

\$

[0060] a s – g r o w n で p 型結晶が得られる理 長していることと、結晶成長温度からの治却を前述の冷 **却雰囲気で行うことで、冷却雰囲気からの水楽の枯晶内** くの打散が苔包され、大群パツペーションによる高柘坑 (0≤×≤1) が単層、あるいは積層構造の最表面に結 由としては、MgとBが同時に添加されたp型AlvG a (t-x) N (0 ≦ x ≤ 1) は南キャリア強度のものが改 化が防止されるためと考えられる。AlxGa(1-x)N

まれる窒素原料が、AIGaNの生成反応に寄与する原 子状の窒素を生成するため、AIGaN結晶表面からの 蛮素の解離が防止され、その結果、ドナー性欠陥となる **窒券空孔の生成が抑制され、安面の高抵抗化が防止され** 晶成長される場合においては、さらに、冷却雰囲気に含 て、低抵抗のp型AlxGa(1-x)N (0≦x≦1) がa sーgrownで得られると考えられる。

や、有機物の水葉によるクリーニング効果が期待できる 10061]また、冷却中の雰囲気ガス中に水紫を含む ので、表面の汚染による表面抵抗の増加が防止できる。 場合には、結晶表面に吸着している未反応の有機原料 これは従来技術では得られなかった効果である。

合物を使用することによって、原子状窒薬による結晶安 [0062] また、蜜発原料ガスとしては特に限定はし ないが、NHs等のその分解によって水素を発生する化 面の分解控制効果(それによる水漿の拡散控制効果) **水禁によるクリーニング効果が回時に得られる。**

中への水素の拡散侵入を抑制することで、結晶成長後の [0063] 前述した従来技術1では、水葉を発生する ていたが、これに対し、本発明の作製方法では、結晶成 ・G a (・・x) N (0≤×≤1) を作数することを格徴とし 化合物や木業ガスを含む雰囲気中では、高格抗化したロ **騒であるため、水茶を含まない雰囲気中で熱処理を行っ** 冷却過程における高抵抗化を抑制し、低抵抗のp型A1 ても良く、水素を含む協合には水素の効果を積極的に利 |抜変化物から木繋を排出させて p 型化をすることは因 長直後の低抵抗のp型A l x G a (1-x) N (0≤x≤1) た、雰囲気中には、水森を含んでいても、含んでいなく ており、従来技術とは原理的に異なるものである。ま 用している点も従来技術とは異なる。

【0064】 すなわち、Mg(マグネシウム)と同時に (0≦×≦1)の作製方法において、予却雰囲気中に合 まれる窒素原料としてはNH3 (アンモニア)を用いる 田 (ボロン) が液値されている p型A 1xG a (1-x) N にとがわなる。

には、その分解によって生成される原子状窒素による結 晶装面の分解抑制効果と水森によるクリーニング効果が [0065] 鐵葉原料ガスとしてNH3を使用するとき 回路に毎られる。

第2の作製方法として、Mgと同時にBが統加されてい 含む反応系で結晶成長して作製し、その結晶成長直後の るp型A 1 x G a (1-x) N (0≦×≦1) を、水繋ガスを 【0066】また、本発用では、川は蛮化物半導体の 枯晶成長温度からの冷却を、NH3の冷却雰囲気で行な うようにしている。

[0067] この第2の作製方法では、冷却中の雰囲気 れる原子状窒素による結晶表面の分解抑制効果と水嚢に よるクリーニング効果を、混合ガス雰囲気の場合よりも がNH3ガスのみであるので、その分解によって生成さ 効果的に得ることができる。

ş

特別2002-324913

9

ガスとすることにより、数面劣化が抑制された低抵抗の p型A 1xGa(1-x)N (0≦x≤1) がas-grow 旺抵抗の p 型Ⅲ は蛮化物は得られなかったが、本発明 では、結晶成長後の冷却過程において、雰囲気をNH3 は、木繋パツベーションによりり型結晶が高極抗化し、 [0068] なお、従来、NH3雰囲気中の熱処理で った年のれる。

[0069] また、本発明では、上述した111族登化物

半導体(Mg(マグネシウム)と同時にB(ボロン)が 【0070】なお、このような半導体装置は、p型A1 を含む半導体積層構造を有している半導体装置を構成す 磁加されているp型A1xGa(1-x)N (0≦x≦1)) ることができる。 2

*Ga(1-x)N (0≦×≤1)の特性を用いて機能するも のであれば、任意の案子形態をとろことができる。 すな 子). 受光棄子, 電子デバイス等の形態をとることがで わち、半導体発光繋子(例えば、半導体レーザー繋 ές νς

[0071] 具体的に、半導体発光楽子として構成する 掛合、正負の2つの電極関に電圧を印加することによっ て、発光関域に電流を注入し、そこでキャリアの再結合 が生じ発光するものであれば、その構造は特に限定しな

20

[0072] すなわち、半導体発光繋子としては、発光 ダイオードかむったも良いし、半導体ワーザーやあった 5良い。また、半導体発光器子が例えば半導体レーザー である場合、この半導体レーザーの構造は特に限定され **るものではなく、雄両弟光型,面発光型のどちらの構造** であっても良い。 【0073】また、本発明の半導体装置が半導体発光器 子である場合、この半導体発光索子としては、発光故長 が400nm以下のものにすることができる。

【0074】より具体的に、本発明では、Mg(マグネ 育する半導体装置において、p個オーミック電極を形成 **シウム) と同時にB(ボロン)が抵加されているp型A**]*Ga(!-*)N (0 N×21)を含む半導体積層構造を **するコンタクト層に、Mg(マグネシウム)と同時にB** (ポロン) が衒加されているp型A1*Ga(1-*)N(0 ≤×≤1)を用いることができる。

*Ga(!-x)N (0≤×≤1) にp値オーミック電極が形 成され、呪流を注入することにより機能するものであれ ば、任意の素子形態をとることができる。すなわち、半 【0075】なお、このような半導体装置は、p型AI 導体発光辮子(倒えば、半導体レーザー繋子), 受光操 子、電子デバイス等の形態をとることができる。 40

【0076】具体的に、半導体発光築子として構成する **場合、正負の2つの電極間に配圧を印加することによっ** て、発光関域に電流を注入し、そこでキャリアの再結合 が生じ発光するものであれば、その構造は特に限定しな

-5-

である場合、この半導体レーザーの構造は特に限定され 【0077】すなわち、半導体発光索子としては、発光 ダイオードであっても良いし、半導体ワーザーであって も良い。また、半導体発光繋子が例えば半導体レーザー るものではなく、結団発光型、回発光型のどちらの構造 であっても良い。

【0078】また、本発明の半導体装置が半導体発光素 子である場合、この半導体発光素子としては、発光波長 が400mm以下のものにすることができる。

1)を用いるコンタクト層(p倒オーミック電極を形成 するコンタクト層)は、積層構造の最表面である必要は [0079]また、p型AlxGa(1-x)N (0≤x≦ なく、例えば設下層であっても良い。

≤x≤1)をクラッド層に用いた少なくとも1つのpー いる半導体装置が半導体レーザー業子である場合、酸半 (ボロン) が欲加されているp型A1xGa(1-x)N(0 (I-x) N (0≤x≤1)を含む半導体積層構造を有して [0080]また、本発明では、Mg (マグネシウム) と同時にB(ボロン)が添加されているp型AlxGe 導体レーザ素子を、Mg (マグネシウム) と同時にB n接合を有するものにすることができる。

【0081】にいた、半導体ワーガー戦中の構造は、徐 に限定されるものではない。すなわち、Mg (マグネシ *Ga(!-x)N (0≤x≤1)をクラッド層に用いた少な **一ザー栞子であって、活性層にキャリアが注入され、レ** ウム) と同時にB(ボロン)が添加されているp型A1 ーザー光が外部に取り出されるものであればよく、蟷面 ン)が添加されているp型A1xGa(1-x)N(05x≦ 1)を含む半導体積層構造を、水繋ガスを含む反応系で 結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの冷 くとも1つのp - n 接合を有する111族窒化物半導体レ [0082]また、本発明では、Mg (マグネシウム) (1-x) N (0≤x≤1)を含む半導体装置の第1の作製 と同時にB(ボロン)が添加されているp型AlxGa 却を、窒素原料を含む冷却雰囲気で行うことによって、 方法として、Mg (マグネシウム) と同時にB (ボロ 発光型、面発光型のどちらの構造であっても良い。

30

[0083] ここで、冷却が囲気としては、鑑鰲、ある これらに数%の水漿を含む混合ガス、あるいは、窒素原 **料ガスのみ、あるいは、窒素原料ガスと水薬の混合ガス** いは、不活性ガスと窒素原料との混合ガス、あるいは、 雰囲気を使用することができる。

上述した半導体装置を作製することができる。

(0≤×≤1)の結晶成長と、前述した窒素原料を含む [0084]この第1の作製方法によれば、MgとBを 雰囲気ガス中での冷却を組み合わせることで、従来難し かったA 1 x G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1) の p 型結晶が a 同時に添加しての高キャリア濃度のA 1xG a (1-x) N s-grownで得られる。

20 [0085] as-grownでp型結晶が得られる理

長していることと、結晶成長濃度からの冷却を、前述の 帝却雰囲気で行うことで、帝却雰囲気からの水栗の結晶 なくの技骸が苔癬され、木繋スツスーションによる東苑 抗化が防止されるためと考えられる。A 1.G a (1-x) N (0 M×41) が単層、あるいは積層構造の最表面に結 晶成長される場合においては、さらに、冷却雰囲気に含 まれる窒素原料が、AIGaNの生成反応に寄与する原 子状の窒素を生成するため、AIGaN結晶表面からの 窒素の解離が防止され、その結果、ドナー性欠陥となる 窒素空孔の生成が抑制され、表面の高抵抗化が防止され て、低抵抗のp型AlxGa(1-x)N (0≦x≦1) がa 由としては、MgとBが同時に欲加されたp型AliG a (!-x) N (0≤×≤1) は高キャリア濃度のものが成 sーBrownで得られると考えられる。 2

[0086]また、冷却中の雰囲気ガス中に水素を含む や、有機物の木素によるクリーニング効果が期待できる ので、表面の汚染による表面抵抗の増加が防止できる。 場合には、結晶表面に吸着している未反応の有機原料 これは従来技術では得られなかった効果である。

【0087】また、竈業原料ガスとしては特に限定はし 合物を使用することによって、原子状窒素による結晶表 面の分解抑制効果(それによる水素の拡散抑制効果)と ないが、NH3等のその分解によって水素を発生する化 水素によるクリーニング効果が同時に得られる。

20

[0088] 前述した従来技術1では、水素を発生する 難であるため、木素を含まない雰囲気中で熱処理を行っ ていたが、これに対し、本発明の作製方法では、結晶成 中への木素の拡散侵入を抑制することで、結晶成長後の 冷却過程における高抵抗化を抑制し、低抵抗のp型Al .Ga(1-x) N (0≤x≤1) を作数することを特徴とし 化合物や木業ガスを含む雰囲気中では、高抵抗化した川 ても良く、水森を含む場合には水漿の効果を積極的に利 長直後の低格抗のp型A 1xG a (1-x) N (0≦x≦1) た、雰囲気中には、水素を含んでいても、含んでいなく 族選化物から水業を排出させて p 型化をすることは困 ており、従来技術とは原理的に異なるものである。ま 用している点も従来技術とは異なる。

【0089】すなわち、Mg(マグネシウム)と同時に (0≤×≤1)を含む半導体装置の作製方法において、 冷却雰囲気中に含まれる窒素原料としてはNH3(アン B (ポロン) が欲泊されているp型A 1xGa(1-1) N モニア)を用いることができる。

\$

には、その分解によって生成される原子状窒素による結 **島表面の分解抑制効果と水素によるクリーニング効果が** [0090] 鑑素原料ガスとしてNH3を使用するとき

[0091]また、本発用では、p型AlxGa(1-x)N (0≤x≤1)を含む半導体装置の第2の作製方法とし されているp型A1xGa(1-x)N (0≤x≤1)を含む C、Mg (マグネシウム) と回時にB (ボロン) が液包

し、その結晶成長直後の結晶成長湿度からの冷却を、N Hoの冷却雰囲気で行なうことによって、上述した半導 半導体積層構造を、水業ガスを含む反応系で結晶成長 体装置を作製することができる。

[0092] この第2の作製方法では、冷却中の雰囲気 れる原子状鑑素による結晶表面の分解抑制効果と水素に よるクリーニング効果を、混合ガス雰囲気の場合よりも がNHsガスのみであるので、その分解によって生成さ 効果的に得ることができる。

ガスとすることにより、数面劣化が抑制された低抵抗の p型A l * G a (1-x) N (0≦x≦1) がa s − g r o w 低柢抗の p 型111族窒化物は得られなかったが、本発明 では、結晶成長後の冷却過程において、雰囲気をNH3 は、木繋パンペーションにより「型結晶が高極抗化し [0093] なお、従来、NH1雰囲気中の熱処理で ロで海られる。

その作製方法および半導体装置およびその作製方法につ [0094] 以下、本発用の111核窒化物半導体および いて、より詳細に説明する。

…例を示す図である。図1を参照すると、サファイア基 [0095] 図1は本発明に係る111族窒化物半導体の 仮10上には、低温GaNバッファー層11、III旅鑑 Y物半導体としてのp型AlxGa(1-x)N (0≤x≦ 1) 層 1 2 が順次に積層されている。

20

[0096] ににで、p型A1xGa(1-x)N (0≦x≦ 1) 層12は、例えばx=0. 08のp型A10.08Ga 0.82 N層である。 [0097]そして、p型A10.08Ga0.92N層12に は、p型不純物のMg(マグネシウム)と同時にB(ボ ロン) が合まれている。ここで、MgとBは、ともに8 ×1019cm-3程度含まれている。

T機度が8×1011cm−3で低極抗のp型を示した。な [0098] p型A10.08Ga0.92N圏12は、キャリ お、Bを含まない場合は、キャリア濃度は1×1011c n-3であった。

成されている。なお、図2は受発光楽子の発光ダイオー ドの光出射蟷面に垂直な面での断面図であり、図3は発 【0099】また、図2,図3は本発明に係る半導体装 ドとがモノリシックに集積化された受発光素子として構 **端面発光型発光ダイオードと端面受光型フォトダイオー** 間の一例を示す図である。図2,図3の半導体装置は、 **光ダイオードの光出射韓国に平行な国での暦周図であ**

[0100] 図2, 図3を容照すると、発光ダイオード とフォトダイオードは概ね直方体の形状をしており、発 光ダイオードの1つの光出射婚面とフォトダイオードの **受光端面とが向き合うように空間的に分離されて形成さ** 【0101】また、発光ダイオードとフォトダイオード は同一の積層構造からなっている。その積層構造は、サ -8

20

特開2002-324913

®

0.07G a 0.83Nクラッド 編23、1 n 0.17G a 0.83N 活 性層24、p型A 10.07G a0.83Nクラッド層25、p 型G a Nコンタクト層 2 6 が順次に積層されて形成され ファイア 基板20上に、AIN低温パッファー層21、 n型A 10.03G a0.97Nコンタクト層22、n型A 1

[0102] ここで、p型A lo.01Gao.83Nクラッド 層25,p型GaNコンタクト層26には、p型ドーパ ントとしてのMgと同時に、B(ボロン)がドーピング [0103] 発光ダイオードとフォトダイオードは、上 されている。 2

型A10.03G80.81Nコンタクト層22までエッチング することで空間的に分離されている。そして、n型Al 9.03 G a 0.91 N コンタクト層 2 2 の表面が離出し、戯出 Ti/AIからなるn側オーミック亀橋29が形成され 型GaNコンタクト層26上には、Ni/Auからなる 記積層構造をp型GaNコンタクト層26の表面からn ている。また、発光ダイオードとフォトダイオードのp したn型A lo.o3G ao.97Nコンタクト層22上には、 p倒オーミック電極28が形成されている。

[0104] さらにオーミック電極以外の部分には、S て、絶縁保護膜27上には、T.i/A.Iからなる配線電 匿30が形成されており、配線電極30は、発光ダイオ ードとフォトダイオードのそれぞれの、 p倒オーミック i Ozからなる絶縁保護膜27が維積されている。そし 8種28と電気的に接続されている。

は基板に対して概ね垂直に形成されている。そして、発 光ダイオードとフォトダイオードの溝を介して向き合う 側面が、それぞれ、光出射端面202と受光面203に [0105] 発光ダイオードとフォトダイオードの側面 合う側面と反対側の端面が外部へ光を出射する光出射端 なる。また、殆光ダイオードのフォトダイオードと向き 西201となる。

30

[0106] この集積型受発光素子は、発光ダイオード に順方向電流を注入し、フォトダイオードに逆パイアス を印加することによって動作する。すなわち、それぞれ 方向にパイアスを印加すると、発光ダイオードは2つの た光が、フォトダイオードの受光面203に入射し、そ ドに注入する電流を調整し、光出力を制御することがで の素子のp倒,n倒オーミック電極に関方向あるいは逆 フォトダイオードに向いた光出射端面202から出射し し、外部に光電流として取り出される。フォトダイオー きる。なお、発光ダイオードに電流を注入して発光させ 光出射端面201,202から光を出射する。そして、 ドの光電流をモニターすることによって、発光ダイオー の強度に対応した光起電力がフォトダイオードで発生 ると、発光のピーク被長は、粒412nmであった。

【0101】次に、図2,図3の集積型受発光素子の作 は、集積型受発光素子の積層構造はMOCVD法で結晶 製工程例について説明する。なお、この作製工程例で

以長して作戦した。

[0109] 次いで、温度を520℃に下げ、成長雰囲 [0108] この作製工程例では、まず、サファイア基 仮20を反応管にセットし、水素ガス中、1120℃で 気をNH3と窓楽と水紫の混合ガス雰囲気にし、TMA を流し、低温AINパッファー21を堆積した。 加熱し、 基板20の表面をクリーニングした。

あわせて供給し、n型A10.01G a0.01Nコンタクト層 22を3μmの厚さ、n型A10.01Ga0.83Nクラッド [0110] 次いで、温度を1070℃に上げ、水葉を キャリアガスとしてTMG, TMA, SIHIを組成に **番23を0.5μmの厚さに順次積層した。**

[0111] 次いで、水探ガスの供給を止め、雰囲気を 下げ、水森をキャリアガスとしてTMG, TMIを供給 し、1 no.11G a o.63 N活性層 2 4を5 0 n mの厚さに NH3と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に

合ガス雰囲気にし、塩度を1070Cに上げ、水繋をキ およびB1H6を組成にあわせて供給し、p型A10.01G 80.93Nクランド昭25を0. 5μmの厚さ、p型Ga た。結晶成長終了後、中型層の低抵抗化のため、簠葉祭 ナリアガスとしてTMG, TMA, (EtCp) 2Mg [0112] 次いで、雰囲気をNH3と鋸繋と水葉の混 Nコンタクト階26を0、2ヵmの厚さに順次復層 田気中で、750℃で15分間の熱処理を行った。

トダイオードになる高さ約1.5μmの直方体形状を形 【0113】 女に、幅30mm、長さ50mmの短形パ ターンを長さ方向に5 um離して20並べたパターンを **レジストむ形成した。 1のレジストパターンをレスクと** して、ドライエッチングを行い、発光ダイオードとフォ 哎するとともに、n型A 10.03G a0.91Nコンタクト層

[0114] 次いで、絶検保護膜27となるsiO1を 徴層構造の装面に約0.5μmの厚さに堆積した。 22を貸出させた。

[0115] 次いで、p側オーミック電極28を形成し た。p側オーミック電極28の形成工程は次の通りであ る。すなわち、まず、発光ダイオードとフォトダイオー ドの上部に、レジストでヌキストライプパターンを形成 した後、絶縁保護膜27をエッチングしてp型GBNコ ンタクト層26を韓出させる。

【0111】次いで、n側オーミック配極29と配線U 極30とを形成した。n倒オーミック電極29と配線電 [0116] 次いで、p側オーミック電極材料であるN i/Auを蒸遊した。その後、ウエハーを有機溶剤に浸 し、レジストを溶かしてレジスト上に蒸着された電極材 をリフトオフして、発光ダイオードとフォトダイオード の上部にり倒オーミック配権パターンを形成した。その 窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型GaNコ 極30の形成工程は次の通りである。十なわち、まず、 ンタクト 胎26に p 側オーミック電極28を形成した。

n.型A 1 o. o3 G a o. 97 N コンタクト層 2 2 上部の S i O グしてn型A 10.03G a0.91Nコンタクト層22を靍出 させる。次に、レジストを除去し、再度レジストで、配 線電極30とヵ側電極29のリフトオフパターンを形成 する。次いで、n回オーミック電極と配線電極材料であ るTi/A1を茶着した。その後、ウエハを有機容利中 **に後し、レジストを答かしたレジスト上に搭着された職** 極材料をリフトオフし、n側オーミックជ極と配線電極 パターンを形成した。その後、窒素雰囲気で450℃で で、ダイシングを行い、集積型受発光器子をチップに分 1膜27上に、レジストで約100μm幅のヌキストラ イグパターンを形成した後、SiOt膜21をエッチン 熱処理し、n 側オーミック電揺29を形成した。次い 9

【0118】また、図4は本発明に係る半導体装置の他 の構成例を示す図であり、図4の例では、半導体装置は フォトダイオードとして構成されている。 [0119] 図4を参照すると、このフォトダイオード 編44、P型A10.08G a0.82N離45、A1Nキャッ は、サファイア基板40上に、低価GaNパッファー層 Ga0.11Nパッファー層43、n型A10.06Ga0.92N 41、n型GaNコンタクト層42、低温n型Alo.1 プ層46が順次に積層された積層構造を有している。

2

[0120] ここで、p型A 10.06G ao.82N配45に は、P型ドーパントとしてのMBと同時に、B(ボロ ソ)がドーピングされている。

[0121] そして、上記模層構造をAINキャップ層 4 6 から n 型 G a N コンタクト層 4 2 が露出するまでエ ッチングして、直径150μmのメサ構造が形成されて

30

GaNコンタクト個42にはn側オーミック電極49が その外周がリング状にエッチングされ、p型A10.08G ao.82N層45の表面が韓出している。韓出したp型A ミック電極48が形成されている。また、戯出したn型 10.06G80.82N層45の改団にはリング状のp囱オー [0122] メサ構造上部のAINキャップ層46は、

【0123】また、オーミック配価48, 49が形成さ 形成されている。また、メサ構造側面とn型GaNコン オーミック配極4.8から引き出された配線電極50が形 タクト層42上のSiO2艳緑保護膜47上には、p 頃 れている部分以外の領域にはSiOn絶縁保護限47が

[0124] 図4のフォトダイオードにおいて、メサ橋 **含上部のリング状のp側オーミック配極48で囲まれた** 部分が受光面300となる。このフォトダイオードに逆 パイアスを印加し、受光面300に光を照射すると、光 の強度に対応した光電流が流れる。図4のフォトダイオ ードは、3 4 6、1 nmより短い故長での光センサーと

-9-

20

[0125] 次に、図4のフォトダイオードの作製工程 例を説明する。まず、サファイア基板40を反応管にセ ットし、水繋ガス中、1120℃で加熱し、基板40の **数面をクリーニングした。**

[0126] 次いで、恒度を520℃に下げ、雰囲気を [0127] 次いで、祖度を1050℃に上げ、TMG umの厚さに積層し、続いて、塩度を600℃に下げ、 NH3と窒器と水器の混合ガス雰囲気にし、TMGを流 とSiHiを供給し、n型GBNコンタクト層42を2 し、低温GBNパッファー層41を堆積した。

LMGとTMAとSiHiを供給して、低値n型Alo.1 し、次いで、温度を1010でに上げ、TMGとTMA Gao. в N パッファー層43を約50mmの厚さに堆積 とSiH4を供給して、n型A10,08Ga0.92N層44 を1μmの厚さに積層した。

p) 1MgとB1H6を供給し、p型A 10.08G a0.01N [0128] 於いで、SiHiの供給を止め、 (EtC 簡45を0. 5 nmの厚さ、AINキャップ簡46を 0.1 mの厚さに積磨した。

め、窒躁雰囲気中で、750℃で15分間の熱処理を行 [0129] 結晶成長終了後、p型層の低抵抗化のた

[0130] 次に、内径13.0μm、外形145μmの リング状に聞いたパターンをレジストで形成した。この レジストパターンをマスクとして、ドライエッチングを 行い、AINキャップ層46をエッチング除去し、p型 A 10.08 G 8 0.92 N層 4 5 の被団を韓圧した。 [0131] 衣いで、ドライエッチングで形成したリン 再びドライエッチングを行い、高さ約2μmのメサ形状 を形成するとともに、n型GaNコンタクト層42を靍 グパターン上に、レジストで直径150 mmの円パター ンを形成した。このレジストパターンをレスクとして、

[0132] レジストマスクを除去した後、ウエハーを プラズマCVD装置にセットし、数面にSiO2瞭47 を約0.5μm堆積した。

概容型に殴し、レジストを答かしてレジスト上に禁着さ [0133] 吹いで、p回オーミック配摘48を形成し た。p側オーミック電橋48の形成工程は次の通りであ る。すなわち、まず、メサの上部にレジストでリング状 状にウエットエッチングで抜き、p型A 10.00G80.92 N層45を韓出させる。次いで、p回オーミック配権材 料であるNI/Auを蒸着した。その後、ウエハーを有 れた電極材をリフトオフして、メサ上部にp倒オーミッ ク配価パターンを形成した。その後、強群が囲気中、6 00℃で熱処理し、p型A 10.06G a0.92N層45にp のヌキパターンを形成した後、SiO1膜41をリング 脚オーミック配極48を形成した。

[0134] 次いで、n個オーミック配権49と配線電 图50とを形成した。n側オーミック配種49と配鉄配

特別2002-324913

9

極50の形成工程は衣の通りである。まず、n型GaN でメサを囲む形状のヌキパターンを形成した後、SiO を露出させる。次に、レジストを除去し、再度レジスト で、配鉄電極50とn 倒電極49のリフトオフパターン を形成する。次いで、n側オーミック電極と配鉄電極材 料であるT:/Alを搭着した。その後、ウエハを有機 **密盤中に没し、レジストを称かしたアジメト上に孫権さ** れた電極材料をリフトオフし、n側オーミック電極49 と配級電極50のパターンを形成した。その後、窒素界 田気中、450℃で熱処理し、n個オーミック配極49 I膜47をエッチングしてn型GaNコンタクト層42 コンタクト届42上部のSiO2膜47上に、レジスト か形成した。

[0135] また、図5は本発明に保る半導体装置の他 0構成例を示す図であり、図5の例では、半導体装置は 半導体レーザーとして構成されている。なお、図5は半 導体フーザーの光田針方向に報荷な面での整酒図かめ

n型A10.09Ga0.91Nクラッド層63、n型GaNガ は、サファイア基板60上に、AIGaN低値パッファ イド個64、Ino.18Gao.88N/Ino.02Gao.98N 多**監集子井戸活性層(2ペ7)65、p型Alo.1**G ao 8N層86、p型GaNガイド層67、p型A10.08G 80.81Nクラッド層68、p型GaNコンタクト層69 一層61、n型A10.03Ga0.87Nコンタクト間62、 【0136】図5を毎照すると、この半導体レーザー が順次に積層されて形成されている。 20

[0137] ここで、p型Alo.zGao.eN層66, p 型GaNガイド層67, p型A10.08Ga0.92Nクラッ ド層68,p型GaNコンタクト層69には、p型ドー パントとしてのMgと同時に、B (ボロソ) がドーピン グされている。

30

エッチングされ、電流狭窄リッジ構造400が形成され 【0139】また、p型GaNコンタクト層69の表面 からり型A10.08G80.82Nクラッド番68の途中まで [0138]また、上記積層構造は、p型GaNコンタ クト層69の数佰から n 数 A 1 0.03 G 8 0.91 N コンタク ト層62までエッチングされ、n型A10.03Ga0.91N コンタクト階62の袋面が霧出している。霧出した巾型 A 10.03G a 0.11Nコンタクト層62上には、T1/A たいる。そした、リッジ構造400の最数面のp型Ga Nコンタクト西69上には、Ni/Auからなるり倒さ 1からなるn側オーミック電極72が形成されている。

[0140]また、電極形成即以外は、絶縁保護膜70 70上にはp側電極から引き出された配線電極73が形 としてSiOスが堆積されている。そして、絶縁保護限 ーミック配極71が形成されている。

[0141] そして、積層構造と配流狭窄リッジ構造と 既な無直に光共復路端面が形成されている。

1

[0142] この半導体レーザーの電極71,72に順 方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加させ るとレーザー発版する。発版被長は約409nmであ

[0144] この作製工程例では、まず、サファイア基 板60を反応管にセットし、水寨ガス中、1120℃で 【0143】次に、図5の半導体レーザーの作製工程例 を説明する。なお、この作製工程例では、半導体レーサ 一の荷層構造の結晶成長はMOCVD法で行った。

[0145] 次いで、温度を520℃に下げ、雰囲気を NH3と窒素と水素の混合ガス雰囲気にし、TMGとT 加熱し、基板60の表面をクリーニングした。

62を2μmの厚さ、n型A10.08Ga0.82Nクラッド [0146] 次いで、温度を1050Cに上げ、水寮を あわせて供給し、n型A10.03Ga0.01Nコンタクト層 隔63を0. 7 mmの厚さ、n型GaNガイド階64を MAを流し、低温AIGaNパッファー層61を堆積し キャリアガスとしてTMG, TMI, SIHAを組成に

[0147] 吹いで、水繋ガスの供給を止め、雰囲気を 下げ、水素をキャリアガスとしてTMG,TMIを供給 L、 1 no.15 G ao. 85 N / 1 no. 02 G ao. 98 N 多氫量子 NH1と窒果の混合ガス雰囲気にし、濃度を810℃に 井戸活性局65(2ペア)を成長した。

1 μ m の 厚 さ に 積層 し た。

の混合ガス雰囲気にし、湿度を1070℃に上げ、水素 67を0.1μmの厚さ、p型A10.08Ga0.82Nクラ ッド悶68を0. 7 μmの厚さ、p型GaNコンタクト ao.s N 图 6 6 を 2 0 n m の厚さ、p 型 G a N ガイド層 をキャリアガスとしてTMG, TMA, (EtCp) 2 [0148] 次いで、成長雰囲気をNH3と籤繋と水繋 Mg. B1H6を組成にあわせて供給し、p型A10.1G **際69を0.2μmの厚さに積層した。**

8

め、窒素雰囲気中で、150℃で15分間の熱処理を行 [0149] 結晶成長終了後、p型層の低低抗化のた

ストパターンをマスクとして、約0. 7 μmの隙さをド パターンを繰り返しピッチ1mmで形成した。 このレジ [0151] レジストマスクを除去した後に、さらにレ ジストでリッジ構造400を覆う幅500μmのストラ イブパターンを繰り返しピッチ1mmで形成した。この レジストパターンをマスクとして、約1. 5ヵ日の祭さ にドライエッチングして、n型A10,03G 80,91Nコン タクト層62を露出させた。次いで、絶解保護膜10と 【0150】次いで、レジストで編4μmのストライン ライエッチングして、リッジ構造400を形成した。

9

S た。p倒オーミック電極71の形成工程は次の通りであ 【0152】次いで、p側オーミック電極71を形成し

なるSiO2を積層構造の表面に約0.5μm堆積し

る。すなむち、まず、リッジ構造400の上部に、フジ ト層69を露出させる。次いで、レジストを除去し、再 を形成し、リッジ上にp側オーミック 転摘材料であるN i / A u を蒸着した。その後、ウエハーを有機溶剤に浸 をリフトオフして、半導体レーザーの積層構造上にのみ p側オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素 雰囲気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト 膜70をエッチングしてリッジ上のp型GaNコンタク **取レジストで約450gm幅のヌキストライプパターン** し、レジストを溶かしてレジスト上に落着された電極材 ストでヌキストライプパターンを形成した後、S i O1 層69にp倒オーミック電極71を形成した。 2

グしてn型A 10.03G ao.01Nコンタクト層62を轄出 リフトオフ用の電極パターンを形成する。次いで、n側 燕着を行い、ウエハを有機溶剤中に浸し、レジストを溶 [0153] 次いで、n 側オーミック電極12と配線電 便73とを形成した。n側オーミック電極72と配線電 n型A 10.03G a 0.97Nコンタクト層 6.2 上部のS:O させる。レジストを除去した後、再びレジストを塗布し て、p回電極上とn倒オーミック電極を形成する部分に オーミック電極材料と配装電極材料であるTi/Alの し、n側オーミック電極パターンと配線電極パターンを |膜10上に、レジストで約100μm幅のヌキストラ **極73の形成工程は次の通りである。すなわち、まず、** イブパターンを形成した後、S i O2膜10をエッチン 形成する。その後、強禁雰囲気で450℃で敷処理し、 かしてレジスト上に茶着された電極材料をリフトオフ n倒オーミック電極72を形成した。

し、リッジ構造400に概ね垂直になるように割り、光 【0154】次いで、サファイア悪板60を薄く研磨 共振器端面を形成する。

×≤1))の一段を説明するための図である。より詳細 5. なお、この例では、p型AlrGa(!-*)N (0≦x ≦1) はp型A lo.o6G ao.o2Nであり、結晶成長後の [0155] また、図6は前述の第1の作製方法で作製 帝却雰囲気に含まれる鸳素原料はモノメチルヒドラジン した||| 陝竈化物半導体 (p型A 1xGa(1-x) N (0≦ に、図6は本発明のp型A1xGa(1-x)N (04×5) 1)の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ (MMHy) であるとしている。

80をMOCVD装置にセットし、水索ガス中、112 [0157] 次いで、温度を520℃に下げ、雰囲気を 【0158】図6を奪照すると、まず、サファイア基板 [0158] 次いで、温度を1070℃に上げ、111様 NH3と窒素と水薬の混合ガス雰囲気にし、水薬をキャ リアガスとして、TMG(トリメチルガリウム)を飛 0℃で加熱し、基板80の按面をクリーニングした。 し、低温GaNバッファー層81を堆積した。

原枠としてTMG(トリメチルガリウム)とTMA(ト リメチルアルミニウム) を、また、ロ型ドーパントとし

チルヒドラジン(MMH y)を、さらにB2H6を鑑案ガ スと水素ガスの混合ガスと同時に反応管に流し、p型A て (EtCp) 1Mgを、また、窒素原料としてモノメ 10.08G 80.92N層82を結晶成長した。

%) と窒素ガスとモノメチルヒドラジン (MMHy) の 【0160】冷却後、ウエハーを取り出し、結晶成長し 【0159】 結晶成長後に、111族原料とp型ドーパン ト原料とB2Heの供給を止め、水素ガス(全体の約6 昆合ガス雰囲気中で窒温まで冷却した。

たA 10.01G ao.12N結晶 8 2の表面に電極を形成して ホール園定を行った。この枯果、A 10.08G a 0.92N層 82のキャリア徹底は8×101,cm-1で低抵抗のp型 を示した。

図、図8はフォトダイオードとなる積層構造の結晶成長 【0161】また、図1、図8は前述の第1の作製方法 **ォトダイオードであり、図りはフォトダイオードの整画** 5。なお、図7, 図8の倒では、第1の作製方法におい している。また、図 2 , 図 8 の例では、半導体装置はフ て、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH3であると で作製した半導体装置の一例を説明するための図であ 後の冷却過程を説明するための図である。

■92、p型A10.08Ga0.82N面93、A1Nキャン [0163] ここで、p型A 10.08G a 0.92N層93に [0162] 図1, 図8を奪服すると、このフォトダイ オードは、n型GaN基板90上に、低値n型Alo.t Gao.sNパッファー番91、n型Alo.osGao.s2N は、p型ドーパントとしてのMgと同時に、B(ボロ ブ層 9 4 が順次に積層されて積層構造をなしている。

[0164]また、図7を眷照すると、AINキャップ 習94は直径150 mmの円形に残され、その周囲はエ ッチングされ、p型A 10.01G a 0.02N層 9 3 の表面が **臨出している。韓出したp型A 10.08 G 80.82 N層93** また、n型GaN基板90の裏面にはn側オーミック電 の表面には『個オーミック電極95が形成されている。

ン)がドーパングかれたいる。

[0165] 図1のフォトダイオードでは、p側オーミ 面600に光を照射すると光の強度に対応した光亀流が 荒れる。図7のフォトダイオードは346、1nmより このフォトダイオードに逆パイアスを印加し、受光 ック電極95で囲まれた円形部分が受光面600とな 5 短い波長での光センサーとして機能する。

極96が形成されている。

wnでp型A 10.08G a0.91N層93が作製されている ので、p型化のための熱処理を必要としていない。その 発生せず、暗電流の少ないフォトダイオードとなってい [0166] 図1のフォトダイオードは、as-gro **結果、結晶表面の分解がほとんどないので、結晶欠陥が**

【0161】 次に、 図1のフォトダイオードの作製方法 を説明する。まず、n型GaN基板90を反応管にセッ

特別2002-324913

25

窒素と水素の混合ガス雰囲気で、TMAとTMGおよび トし、水穀と鑑案とアンモニアガスの混合ガス中、11 型A10.1G80.8Nペッファー番91を約50mmの厚 さに堆積し、次いで、温度を1010℃に上げ、TMG [0168] 次いで、温度を600℃に下げ、NH1と n型ドーパントガスであるSiH4ガスを流し、低温n とTMAとSiHtを供給して、n型A10.08G 80.92 20℃に加熱し、基板90の表面をクリーニングした。 N層92を1 mmの厚さに積磨した。

p) 2MgとB2H6を供給し、p型A10.08Ga0.92N 番93を0.5μmの厚さ、AINキャップ層94を [0169] 次いで、SiH1の供給を止め、 1 umの厚さに積層した。 2

[0170] 灰いで、TMG, (EtCp) 1Mg, B1 素ガス(全体の6%)の混合ガス雰囲気にして窒祉まで Hiの供給を停止し、反応管内を選集とアンモニアと水 冷却し、反応管から基板を取り出した。

ジストで形成した。このレジストパターンをマスクとし [0171] 次に、直径150 mmの円形パターンをレ て、ドライエッチングを行い、マスクパターン以外のA 1 Nキャップ層 9 4をエッチング除去した。

20

[0172] 次いで、p個オーミック電極95を形成し た。 p 個オーミック電極95の形成工程は次の通りである。 すなわち、まず、A 1 Nキャップ番94の円形パタ して、AINキャップ層94の電極材料を除去した。そ ーン上にレジストで直径 1 4 0 g m の日形のパターンを 形成した後、p倒オーミック観播材料であるNi/Au を蒸着した。その後、基板を有機容剤に浸し、レジスト を溶かしてレジスト上に蒸着された電極材をリフトオフ の後、窒素雰囲気中、600℃で熱処理し、p型A1 8

【0173】次いで、基板90の裏面を研磨し、厚さを Ti/Alを蒸着した。その後、窒素雰囲気でも50℃ 約100mmにした後、n倒オーミック無価材料である

0.08 G 8 0.92 N層 9 3 に p 倒オーミック 観極 9 5 を形成

法で作製した半導体装置の他の例を説明するための図で 断面図、図10はフォトダイオードとなる積層構造の結 [0174]また、図9、図10は前法の第1の作製力 ある。なお、図9,図10の例では、第1の作製方法に はフォトダイオードであり、図9はフォトダイオードの るとしてる。また、図9.図10の例では、半導体装置 おいて、冷却雰囲気中に含まれる窒素原料はNH3であ で熱処理し、n側オーミック電極96を形成した。 Ş

0.92N屬102、p型A10.08Ga0.82N屬103が順 [0175] 図9, 図10を参照すると、このフォトダ イオードは、n型GaN基板100上に、低温n型Al 0.1Ga0.9Nバツファー霽101、n型A 10.08Ga 晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

{0176} ここで、p型A10.08Ga0.02N磨103 次に積層されて積層構造をなしている。

には、p型ドーパントとしてのMgと同時に、B(ボロ ン)がドーピングされている。

0.08G a 0.92N图 1 0 3からn型GaN基板 1 0 0 が韓 [0177]また、このフォトダイオードは、p型A1 出するまでエッチングして形成された直径150 mmの メサ構造をなしている。 [0178] そして、メサ構造とエッチングによって翳 出されたn型GaN芸板100上には、SiOz絶線膜 104が形成されている。

0.08G20.92N图103の表面が韓出している。 韓田し た、メサ構造の側面とエッチングによって韓出したn型 たp型A 10.08G a 0.82N層 103の数面には、リング は、p 側オーミック電極105から引き出された配線電 状のp側オーミック配極105が形成されている。ま その外周がリング状にエッチングされ、p型A1 [0179] ×サ構造の上部のSiO2絶線膜104 GaN紙板100上のSiO2絶線保護膜104上に 極101が形成されている。

[0180] また、n型GaN基板100の裏面にはn 関オーミック電極106が形成されている。

2

[0181] 図9のフォトダイオードでは、メサ構造上 部のリング状のp側オーミック電極105で囲まれた部 イアスを印加し、受光面500に光を照射すると、光の 分が受光面500となる。このフォトダイオードに逆バ ドは、346nmよりも短い改長での光センサーとして 強度に対応した光電流が流れる。図9のフォトダイオー

るので、p型化のための熱処理を必要としていない。そ [0182] 図9のフォトダイオードは、as-gro の結果、結晶接面の分解がほとんどないので、結晶大陥 wnでp型A lo.08G ao.82N層 10 3が存製されてい が発生せず、暗電流の少ないフォトダイオードとなって

30

【0183】次に、図9のフォトダイオードの作製力法 を説明する。まず、n型GaN基板100を反応管にセ ットし、水紫と窒霖とアンモニアガスの混合ガス中、1 120℃に加熱し、基板100の表面なクリーニングし

ードをチップ分離した。

窒素と水業の混合ガス雰囲気で、TMAとTMGおよび 型A 10.1G a 0.9 Nパッファー階 1 0 1を約5 0 n mの 厚さに堆積し、次いで、温度を1070℃に上げ、TM [0184] 次いで、温度を600℃に下げ、NH3と n型ドーパントガスであるSiHtガスを流し、低温n GとTMAとSiH4を供給して、n型Alo.08Gao 92N層102を1μmの厚さに積層した。

[0186] 次いで、TMG, (EtCp) 1Mg, B1 [0185] 次いで、SiH4の供給を止め、(EtC p) 1MgとB1H6を供給し、p型A10.08Ga0.91N **層103を0.5μmの厚さに積層した。**

素ガス(全体の6%)の混合ガス雰囲気にして窒塩まで 帝却し、反応管から基板を取り出した。

て、ドライエッチングを行い、高さ約2μmのメサ形状 【0181】 枚いで、レジストで直径150 mmの円パ ターンを形成した。このレジストパターンをマスクとし を形成するとともに、n型GaN基板100を露出させ 【0188】レジストマスクを除去した後、ウエハーを プラズマCVD装置にセットし、表面にSiO2順10 4を約0.5 mmの厚さに堆積した。

である。すなわち、まず、メサの上部にレジストでリン 80.92 N曜 103を貸出させる。 欠いで、p側オーミッ 【0 1 8 9】 次いで、p 側オーミック電極 1 0 5 を形成 した。p側オーミック電極105の形成工程は次の通り リング状にウエットエッチングで抜き、p型A 10.08G ク電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、ウエ ハーを有機溶剤に浸し、レジストを溶かしてレジスト上 に茶着された電極材をリフトオフして、メサ上部にp倒 オーミック電極パターンを形成した。その後、窒素雰囲 気中、600℃で熱処理し、p型A10.08Ga0.92N層 グ状のヌキパターンを形成した後、SiO1膜104を 103にp倒オーミック電極105を形成した。

[0190] 次いで、配線電極107を形成した。配線 **紫澄した。その後、ウエハを有機容剤中に浸し、レジス** 監極107の形成工程は次の通りである。 すなわち、ま ず、レジストで、配線電極107のリフトオフバターン を形成する。次いで、配線電極材料であるTi/A1を トを浴かしてレジスト上に蒸着された電極材料をリフト オフし、配線電極107を形成した。

面に形成した。すなわち、基板100の裏面にTi/A [0191] 次いで、n型電極106を基板100の裏 1を蒸替し、その後、窒素雰囲気中、450℃で熱処理 【0192】最後に、ダイシングを行い、フォトダイオ し、n側オーミック電極106を形成した。

は矯固発光型発光ダイオードであり、図11は矯固発光 【0193】また、図11、図12は前述した第2の作 製方法で作製された半導体装置の一倒を説明するための 図である。なお、図11,図12の例では、半導体装置 図12は始面発光型発光ダイオードとなる積層構造の結 型発光ダイオードの光出射端面に垂直な面での断面図 晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

[0194]図11, 図12を畚照すると、発光ダイオ 一ドは概ね直方体の形状をしており、発光ダイオードの - 側面が光出射端面となっている。

3aN基板110上に、n型Alo.07Gao.03N低温ペ [0195]また、発光ダイオードの積層構造は、n型 ッファー層111、n型A10.1Ga0.8Nクラッド層1 12、A10.07G a0.03N活性爛113、p型A10.2 Gao.aNクラッド層114、p型GaNコンタクト層

₹

[0196] ここで、p型A lo.2G ao.8Nクラッド層 114、p型G a Nコンタクト層115には、p型不純 .15が順次に積層されて形成されている。 **かであるMgと同時にBが添加されている。**

[0197]また、発光ダイオードのp型GaNコンタ クト届115上には、Ni/Auからなるp側オーミッ ク電極116が形成されている。

[0199] そして、この発光ダイオードの側面は基板 [0198] また、基板110の裏面には、Ti/Al からなるn側オーミック配権117が形成されている。 110に対した軸面に形成されたいる。

の図である。

2

[0200] この発光ダイオードは、p倒, n倒オーミ ら光が外部に出射される。この発光ダイオードの発光の と、発光ダイギードの一箇面である光田幹絡面100か ック電極116, 117に順方向のパイアスをかける パーク徴収は、 色350mmかむられ。 [0201]次に、図11の発光ダイオードの作製方法 VD法で結晶成長して作製した。まず、n型GaN基板 110を反応管にセットし、アンモニアガス中、112 [0202] 衣いで、祖度を600℃に下げ、雰囲気を を説明する。なお、発光ダイオードの積層構造はMOC し、n型低温A10.01G 80.93Nパッファー層111を MGおよびn型ドーパントガスであるSiHィガスを流 NH3と窒棄と水繁の混合ガス雰囲気にし、TMAとT 0℃で加熱し、基板110の数面をクリーニングした。

33 12を0.3μmの厚さ、Alo.01Gao.91N语性層1 にあわせて供給し、n型A10.1G80.8Nクラッド幅1 G, TMAおよびn型不純物ガスとしてSiHeを相成 [0203] 次いで、祖度を1070℃に上げ、TM 13を0.05μmの厚さに積層した。

[0204] 次いで、n型不純物原料の代わりに、p型 [0205] 結晶成長終了後、反応管内をアンモニアガ と、導通が有り、表面のp型GaNコンタクト層115 不純物原料である(E t C p) 2Mg とそれと同時にB2 ラッド層114を0. 3μmの厚さ、p型GaNコンタ 【0206】冷却後、積層構造装面にテスターを充てる Heを組成にあわせて供給し、p型A 10.1G ao.8Nク スのみの雰囲気にして成長温度から窒泡まで冷却した。 クト陽115を0.2μmの厚さに積層した。

[0207] 次いで、p回オーミック配極材料であるN i / Auを積層構造上面に蒸落した。その後、窒素雰囲 気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト層1 15にp倒オーミック電極116を形成した。 が低抵抗であることが確認された。

を蒸着し、窒棄雰囲気で450℃で熱処理して、n側オ し、約100μmの厚なにした。そして、GaN基板1 10の英面にヵ倒オーミック電極材料であるTi/A1 [0208] 次いで、GaN基板110の裏面を研磨 ーミック電極117を形成した。

特開2002-324913 [0209]次いで、堪板をへき開して、出射端面10 0の形成とチップ分離とを行った。

するための図である。なお、図13、図14、図15の **例では、半導体装置は半導体レーがであり、図13は半** 尊体レーザーの斡殻図、図1414半導体レーザーの光出 [0210]また、図13, 図14, 図15は前述した 第2の作製方法で作製された半導体装置の他の例を説明 竹方向に垂直な面での断面図、図15は半導体レーザー となる積層構造の結晶成長後の冷却過程を説明するため

0.01G a 0.91N高温パッファー磨 1 2 2、n 型 A 1 0.01 ーザーの積層構造1000は、n型GaN基板120上 井戸活性層125、p型Alo.1Gao.8N層126、p 型GaNガイド届127、p型A10,01Ga0,01Nクラ ッド帰128、p型GaNコンタクト帰129が順次に 【0211】図13乃至図15を容照すると、半導体レ に、n型AlGaN低値パッファー層121、n型Al Gao.83Nクラッド磨123、n型GaNガイド磨12 4、[no.15Gao.85N/Ino.02Gao.98N多国量子 積層されて形成されている。

p 倒不萬勢であるM g と回時に B がドーピングされてい P型GaNガイド審127、P型A10,01Ga0,61Nク 【0212】そして、p型A lo.1G ao.8N層126、 ラッド磨128、p型GaNコンタクト磨129には、

ト層129の按面からp型A 10.01G a0.83Nクラッド 【0213】積層構造1000は、p型GaNコンタク 冒128の途中までエッチングされ、観視狭増リッジ構 造800が形成されている。

【0214】そして、リッジ構造800の最表面のp型 図亀権形成部以外は、絶縁保護膜130として、SiO GaNコンタクト階129上には、Ni/Auからなる p側オーミック電極131が形成されている。また、p が推復されている。

沙構造800と概ね無直に光共版器矯両801,802 [0215] そして、積層構造1000と電流狭窄リッ い形成されている。

[0216] また、GaN基板120の裏面には、Ti /Alからなるn回オーミック配種132が形成されて

に順方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加 [0217] いの半導体レーゲーの転倒131, 132 させるとレーザー発版した。発版液長は約409mmで 6

アンモニアガスの混合ガス中、1120℃に加熱し、基 [0218] 衣に、図13, 図14の半導体レーザーの 作製方法を説明する。なお、半導体レーザーの積層構造 1000の結晶成長はMOCVD法で行った。まず、n 型GaN基板120を反応管にセットし、水寮と窒聚と 板120の表面をクリーニングした。

Š

Heの供給を停止し、反応管内を選案とアンモニアと水

窒素と水素の混合ガス雰囲気で、TMAとTMGおよび n型ドーパントガスであるSiHィガスを流し、n型低 【0219】次いで、温度を600℃に下げ、NH3と 個A1GaNパッファー層121を堆積した。

さ、n型GaNガイド層124を0.1μmの厚さに積 [0220] 次いで、湿度を1010℃に上げ、水素を 80.97 N高温パッファー層122を1μmの厚さ、n型 キャリアガスとしてTMG, TMA, n型不純物ガスと A lo o1G a o. 93Nクラッド層123を0.5μmの厚 してSiH/を組成にあわせて供給し、n型A10.03G

L、Ino.15Gao.85N/Ino.02Gao.88N多數量子 【0221】次いで、水素ガスの供給を止め、雰囲気を 下げ、水茶をキャリアガスとしてTMG, TMIを供給 NH1と窒素の混合ガス雰囲気にし、温度を810℃に 井戸活性層125 (2ペア)を成長した。

をキャリアガスとしてTMG,TMA,p型不純物原料 の混合ガス雰囲気にし、温度を1070℃に上げ、水素 p型GaNガイド層127を0.1μmの厚さ、p型A さ、p型GaNコンタクト磨129を0.2μmの厚さ [0222] 次いで、成長雰囲気をNH3と窒素と水素 L、p型A 10.2G a 0.8N層126を20n田の厚さ、 10.01Ga0.93Nクラッド層128を0. 5μmの厚 の (EtCp) 1Mg, B1Hiを組成にあわせて供給

20

【0223】結晶成長終了後、反応質内をアンモニアガ [0224] 冷却後、積層構造表面にテスターを充てる と、導通が有り、表面のp型GaNコンタクト層129 スのみの雰囲気にして成長温度から窒温まで冷却した。 が低抵抗であることが確認された。

パターンを繰り返しピッチ300mmで形成し、このひ [0225] 次いで、レジストで幅4ヵ日のストライプ ジストパターンをヤスクとして、葱0.1ヵ日の除さ杏 [0226] しかる後、レジストマスクを除去し、その ドライエッチングして、リッジ構造800を形成した。 後、絶縁保護膜130となる5iO2を積層構造の装面 に約0.5μmの厚さに堆積した。

電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、窒素雰 【0221】 吹いで、p側オーミック配権131を形成 した。p倒オーミック電極131の形成工程は次の通り で、レジストを除去し、ウエハー要面にp倒オーミック 田気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト層 レジストでヌキストライプパターンを形成した後、Si である。すなわち、まず、リッジ構造800の上部に、 02絶終保護膜130をエッチングしてリッジ800上 のp型GaNコンタクト層129を露出させる。次い 129にp側オーミック電極131を形成した。

[0228] 次いで、基板120の裏面を研磨し、厚さ を約100μmにした後、基板120の裏面にn側オー ミック電極材料であるTi/AIを蒸磨した。その後、

窒禁雰囲気で450℃で熱処理し、n側オーミック電極

ウエハーをリッジ800に概ね垂直になるようにへき関 [0229] 次いで、半導体レーザー構造が形成された し、光共振器端面801,802を形成した。

[0230] 実た、図16, 図17, 図18は前述した 第2の作製方法で作製された半導体発光素子の一例を説 用するための図である。 なお、図16, 図17, 図18 の光出射方向に垂直な面での断面図、図18は半導体レ の例では、半導体発光素子は半導体レーザであり、図1 6 は半導体ソーザーの斡復図、図17 は半導体ソーザー 一ザーとなる積層構造の結晶成長後の冷却過程を説明す るための図である。

9

[0231] 図16乃至図18を参照すると、半導体レ).03Gao.97N高組パッファー層142、n型A10.15 イド暦144、GaN/Alo.1Ga0.eN多重量子井戸 活性層145、p型A10.1Ga0.1N層146、p型A に、n型AlGaN低温パッファー層141、n型Al Gao.86Nクラッド層143、n型Alo.1Gao.9Nガ 10.1G a 0.9Nガイド磨147、p型A 10.15G a 0.85 Nクラッド層148、p型GaNコンタクト層149が 領水に積層されて形成されている。

p型A10.1Ga0.9Nガイド冊147、p型A10.1sG 49には、p型不純物であるMgと同時にBがドーピン 80.85Nクラッド層148、p型GaNコンタクト層1 [0232] そして、p型A10.1Ga0.8N層146、

ト層149の表面からp型A 10.15G ao.85Nクラッド 【0233】 積層構造2000は、p型GaNコンタク ■148の途中までエッチングされ、韓茂狭窄リッジ構 曲900が形成されている。 グされている。

[0234] そして、リッジ構造900の最表面のp型 GaNコンタクト曜149上には、Ni/Auからなる **岡電極形成部以外は、絶縁保護膜150として、SiO** p 個才一ミック電極151が形成されている。また、 が推獲されている。

沙構造900と概ね垂直に光共振器端面901,902 [0235] そして、積層構造2000と電流狭窄リッ が形成されている。

40

[0236] 東た、GaN基板140の裏面には、Ti /A1からなるn倒オーミック 鶴極152が形成されて

させるとレーザー発振した。発複液長は約365mmで [0237] この半導体レーザーの電極151, 152 **に順方向に電流を注入すると発光し、さらに電流を増加**

[0238] 次に、図16, 図17の半導体レーザーの 作製方法を説明する。なお、半導体レーザーの積層構造 2000の結晶成長はMOCV口法で行った。まず、n

-15-

20

アンモニアガスの混合ガス中、1120℃に加熱し、萬 型GaN基板140を反応管にセットし、水素と窒素と 阪140の数面をクリーニングした。

音楽と木兼の混合ガス雰囲気で、TMAとTMGおよび [0239] 吹いで、値度を600℃に下げ、NHsと n型ドーパントガスであるSiHィガスを流し、n型低 個AIGaNパッファー層141を堆積した。

さ、n型Alo.1Gao.sNガイド層144を0、1μm 【0240】 ストいで、温度を1070℃に上げ、水素を 80.97 N南温パッファー層 1 4 2 を 1 μ m の厚さ、n 型 の厚さに順次積層し、次いで、GaN/Alo.1Gao.9 キャリアガスとしてTMG, TMA, n型不純物ガスと A 10.15G a 0.85Nクラッド層143を0、5μmの厚 してSiHィを組成にあわせて供給し、n型A10.03G N多重量子井戸活性層145 (3ペア)を積層した。

さ、p型A10.16Ga0.85Nクラッド層148を0.5 [0241] 次いで、TMG, TMA, p型不純物原料 p型A10.1Ga0.9Nガイド層147を0. 1μmの厚 μmの厚さ、p型GaNコンタクト層149を0.2μ L、p型A 10.1G ao.a N層 146を20 nmの厚さ、 の (EtCp) 1Mg、B1Heを超成にあわせて供給 mの厚さに順次積層した。

20

[0242] 枯晶成長終了後、反応質内をアンモニアガ [0243] 冷却後、積層構造表面にテスターを充てる と、導通が有り、表面のp型GaNコンタクト層149 スのみの雰囲気にして成長温度から窒温まで冷却した。 が低格抗であることが確認された。

ジストパターンをマスクとして、約0. 7 μmの深さを 【0244】 次いで、レジストで幅4ヵmのストライプ パターンを繰り返しピッチ300 nm や形成し、10V [0245] しかる後、レジストマスクを除去し、その 後、絶縁保護膜150となる3102を積層構造の装面 ドライエッチングして、リッジ構造900を形成した。 に約0.5 4円の厚さに袖御した。

[0246] 次いで、p側オーミック電極151を形成 で、レジストを除去し、ウエハー装面にp倒オーミック した。p倒オーミック電極151の形成工程は次の通り 電極材料であるNi/Auを蒸着した。その後、窒素雰 田気中、600℃で熱処理し、p型GaNコンタクト層 【0247】次いで、蟇板140の裏面を研磨し、厚さ レジストでヌキストライプパターンを形成した後、Si 02絶縁保護膜150をエッチングしてリッジ900上 のp型GaNコンタクト層149を露出させる。次い である。すなわち、まず、リッジ構造900の上部に、 1 4 9 に p 倒オーミック電極 1 5 1 を形成した。

ŝ

を約100μmにした後、基板140の裏面にヵ側オー 窒染雰囲気で450℃で熱処理し、n側オーミック電極 ミック電極材料であるTi/A1を蒸着した。その後、

[0248] 次いで、半導体レーザー構造が形成された

特開2002-324913

9

ウエハーをリッジ900に概ね垂直になるようにへき開 し、光井飯器旛面901,902を形成した。

[発明の効果] 以上に説明したように、請求項1記載の 発明によれば、Mgが欲加されたp型Al*Ga(1-x)N (0≦×≦1) には、Mgと同時にBが添加されている ので、Mgの新加による結晶の不安定化が緩和され、高 (0≤×≤1) において、前記p型AlxGa(1-x)N 機度にMgを添加してもキャリア機度の減少が起らす。

その結果、従来にない高いキャリア濃度のp型AliG

9

a(1-x)N (0≦x≦1)を得ることができる。

[0250]また、請求項2記載の発明によれば、請求] x G a (1-x) N (0 ≤ x ≤ 1) のキャリア鎌度が高く低 なる半導体装置の抵抗の増大の原因となっていたp型A 抵抗であることにより、動作亀圧が低く、発熱しにくい 項1記載の111該蛮化物半導体を含む半導体積層構造を 有しているので、従来111核窒化物半導体積層構造から

低板抗のワイドギャップのp型A 1xGa(1-x) N (0≦ 英屋が発光素子の場合には、従来よりも短波長の領域で (紫外領域) で動作する受光素子となる。また、半導体 【0251】特に、半導体装置が受光素子の場合には、 ×≦1)を使用できるので、従来よりも短い故長領域 発光する発光素子となる。

(、発熱による鶴極破壊が生じにくい等、半導体装置の [0252] また、請求項3記載の発用によれば、請求 項2記載の半導体装置において、p側オーミック創極を らなる半導体装置の抵抗の増大の原因となっていた p 側 形成するコンタクト層に請求項1記載の111該盤化物半 単体を用いるので、従来111核蜜化物半導体積層構造か オーミック電極の接触抵抗が低減され、動作電圧が低 特性が向上し信頼性を高めることができる。

8

く、高出力、長寿命、高信頼性で低コストの半導体発光 **素子抵抗が従来のものよりも低く、これによって、高出** また、P型AIGaNはBsーBrownでP型特性を 用が必要とされない。従って、従来よりも動作電圧が低 [0253] また、欝水項4記載の発明によれば、請水 項2または請求項3記載の半導体装置において、該半導 体装置は半導体発光素子であり、高いキャリア濃度の p 示すので、p型化のための特別な処理にかかる時間と費 力動作を行っても発熱が少なく、業子の劣化が少ない。 型AIGBNが半導体発光療子に使用されているので、 森子を提供できる。

頁4記載の半導体装置において、前記半導体発光案子は I GaNを半導体レーザーに使用しているので、 報子抵 [0254]また、翳水項5記載の発用によれば、翳水 キ導体レーザー素子であり、高いキャリア濃度のp型A 抗が従来のものよりも低く、これによって、高出力動作 を行っても発熱が少なく、繋子の劣化を少なくすること **将暦2002-324913**

サファイア抵

かかる時間と費用が必要とされない。従って、従来より は、p型AIGaNクラッド間のキャリア濃度が低いた し、発光効率の低下を招いていたが、本発明の半導体レ 一ザーは、高いキャリア機度のD型A 1 G a N層をクラ [0256] さらに、p型AIGaNはas-grow nでp型特性を示すので、p型化のための特別な処理に も動作也圧が低く、高出力、長寿命、高信頼性で低コス め、電子が活性層からD型クラッド層にオーバーフロー ッド쪔に使用することができるので、発光効率が高い。 【0255】また、従来の111核館化物半導体レーザー トの半済体ワーナーが結束でかる。

2

[0257]また、請求項6記載の発明によれば、請求 **仏4または慰求掻5記銭の半導体装置において、前記半** 導体発光紫子は、発光被長が400mm以下であり、p 高いキャリア激度のp型AIGaNを使用することがで きるので、従来では困難であった400mm以下の故長 型AIGaNクラッド層にA1の碓晶組成比が大きく、 域での高効率の発光が実現できる。

することが可能となり、低コストの半導体レーザー戦子 [0258] また、額水項7記載の発明によれば、請求 項5記載の半導体装置において、半導体装置としての半 体をクラッド層に用いた少なくとも1つのp-n接合を りもキャリア撥度の高いp型A1xGa⑴-x)N (0≦x ≦1)をp型クラッド圏に使用しているので、動作電圧 の低い、高出力、長野命、高信頼性の半導体レーザー繋 子を提供できる。また、超格子構造を作製する必要がな くなるので、結晶成長に要する時間と装置コストを低減 有しており、従来の|||核選化物半導体レーザー繋子よ 導体レーザー茶子は、請求項1記載の111核選化物半導 を提供できる。

AliGa(1-x) N (0 x x 1) Oas-grown C [0259] また、請水項8配載の発明によれば、Mg と同時にBが添加されているp型AlxGa(1-x)N(0 ≤×≤1)を、水業ガスを含む反応系で結晶成長し、そ の結晶成長直後の結晶成長温度からの冷却を、窒弊原料 を含む冷却雰囲気で行うようになっており、MgとBを (0≤×≤1)の結晶成長と、鑑案原料を含む雰囲気ガ ス中での冷却とを組み合わせることで、従来難しかった 同時に添加しての高キャリア濃度のA 1xGa (1-x) N のp型結晶が得られる。

[0260]また、請水項の記載の発明によれば、請水 される水素によって、結晶数面に吸着している未反応の 有機原料や、有機物の水漿によるクリーニング効果が期 却雰囲気中に含まれる選素原料はNH3であるので、精 **求項8の作用効果に加えて、NH3の分解によって生成** 項8記載の111族窒化物半導体の作製方法において、冷 待でき、表面の汚染による表面抵抗の増加を防止でき

20 [0261] また、請求項10記載の発明によれば、M

し、その結晶成長直後の結晶成長温度からの冷却を、N るクリーニング効果を、混合ガス雰囲気の場合よりも効 る原子状窒素による結晶装面の分解抑制効果と水薬によ 果的に得ることができ、その結果、従来よりも高いキャ リア酸度のp型AlxGa(1-x)N (0≦x≦1) をas Haの冷却雰囲気で行なうようになっており、冷却雰囲 気がNH3ガスであるので、その分解によって生成され gと同時にBが添加されているp型AlrGa(1-x)N (0 ≤×≤1)を、水繋ガスを含む反応系で結晶成長 一Brownで作数できる。

[0262] また、欝水項11記載の発明によれば、M (0≦×≦1)を含む半導体積層構造を、水祭ガスを含 ひ反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長恒 度からの冷却を、鐵券原料を含む雰囲気で行うようにな のA 1×Ga(1-x)N (0≤×≤1)の枯晶成長と、 鐵珠 っており、MgとBを同時に添加しての高キャリア激度 原料を含む雰囲気ガス中での冷却とを組み合わせること gと同時にBが添加されているp型AlxGa(1-x)N asーgrownでのp型枯晶が得られる。

では、冷却雰囲気に含まれる窒素原料が、AIGaNの 果、ドナー性欠陥となる窒素空孔の生成が抑制され、衰 あるいは積層構造の最要面に結晶成長される場合におい 生成反応に寄与する原子状の窒素を生成するため、AI GaN結晶接面からの資素の解離が防止され、その結 [0263] AlxGa(1-x)N (0≤x≤1) が単層、 面の高抵抗化が防止される。

20

[0264] 鑑素原料による分解の抑制は、p型A1G 最表面の熱分解による劣化が防止され、結晶品質の良い **結晶を半導体装置に使用することができる。従って、従** 来よりも電気的特性が優れ、高信頼性の半導体装置を作 a Nだけではなく、他のIII 核強化物結晶にも効果があ るので、半導体装置を構成する口は弦強化物積層構造の

【0265】また、p型化のための熱処理を必要としな いため、半導体装置の作製工程を簡略化できるととも に、熱処理の設備費とエネルギー消費を削減できるの で、低コストで半導体装置を作製することができる。 製することができる。

[0268] また、請求項12記載の発明によれば、請 る水繋によって、結晶表面に吸着している未反応の有機 原料や、有機物の木繋によるクリーニング効果が期待で [0267] 従って、従来よりも高いキャリア激度のp 型AlrGa(1-1)N (0≤x≤1)をas-grown **高信頼性の半導体装置を低コストで作製することができ** 水項11記載の半導体装置の作製方法において、冷却男 田気中に含まれる窒素原料はNH3であるので、精水項 8の作用効果に加えて、NH1の分解によって生成され で作製できるとともに、従来よりも電気的特性が優れ、 き、表面の汚染による表面抵抗の増加を防止できる。

[0268] また、請水項13記載の発明によれば、M (0≤×≦1)を含む半導体積層構造を、水素ガスを含 む反応系で結晶成長し、その結晶成長直後の結晶成長温 解によって生成される原子状窒素による結晶装面の分解 抑制効果と水禁によるクリーニング効果を、混合ガス雰 (0≦×≦1) をas-grownで作製できる。これ により、従来よりも電気的特性が優れ、高信頼性の半導 度からの冷却を、NH3の冷却雰囲気で行なうようにな っており、冷却雰囲気がNHsガスであるので、その分 田気の場合よりも効果的に得ることができ、その結果、 従来よりも高いキャリア議度のp型A1xGa(!-x)N g と同時にBが抵加されているp型A 1rG a (1-x) N 体装置を低コストで作製することができる。

|図1] 本発明に係る111族窒化物半導体の一例を示す [図面の簡単な説明]

|図2| 本発明に係る半導体装置の一例を示す図であ 図である。

[図3] 本発明に係る半導体装置の一例を示す図であ

[図4] 本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図 [図5] 本発明に係る半導体装置の他の構成例を示す図

|図6||本発明のp型AlrGa(!-x)N (0≦x≦1) の結晶成長後の冷却過程を説明するための図である。 図1】フォトダイオードの一例を示す図である。

「図8」図7のフォトダイオードとなる積層構造の結晶 [図9] フォトダイオードの一例を示す図である。 **並長後の冷却過程を説明するための図である。**

|図11| 猫面発光型発光ダイオードの一側を示す図で |図10| 図9のフォトダイオードとなる積層構造の結 晶成長後の冷却過程を説明するための図である。

【図12】図11の端面発光型発光ダイオードとなる模 層構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ

|図15||図13, 図14の半導体レーザーとなる機構 【図14】図13の半導体レーザーの光出射方向に垂直 |図13] 半導体レーザーの一側を示す斜視図である。 ・造の結晶成長後の冷却過程を放射するための図である。 な困での原因因である。

【図18】図16、図170半導体レーザーとなる機幅 【図12】図16の半導体レーザーの光出針方向に無直 [図16] 半導体レーザーの一例を示す斜視図である。 構造の結晶成長後の冷却過程を説明するための図であ な固いの断固図かある。

n陸 A 10.03G 80.97Nコンタ n 盥A 10.01 G 80.03 Nクラッ 色質CaNペッファー層 D版A 10.01G a 0, 12 N 和 低位AINペッファー編 [no.17Gao.83N部存在 10, 20, 40, 60, 80 11, 41, 81 (符号の説明) 23, 123 25, 128 12,82 22, 62 . 1 2 タト電

p型G P型A 10,01G a0,111Nクラッ 28, 48, 71, 95, 105, 116, 131, 1 29, 49, 72, 96, 106, 117, 132, 1 保護n型 Alo.iGeo.eNパッファー n 控A 10.08 G 80.92 N p型 Ale. on Gae. 92 27, 47, 70, 104, 130, 150 n型CaNコンタクト層 26, 69, 115, 129, 149 51,170 p 倒オーミック配極 52, 171n倒オーミック配極 SiOzからなる絶縁保護膜 30, 50, 73, 107 45, 93, 103 14, 92, 102 BNコンタクト面 4 2 2

I no. 15 G ao. 85 N / I no. 02 P型CaNガイド編 n型GaNガイド配 n型A 10.01G a 0.92 Nクラッド側 P型A 10.08G a0.82Nクラッド層 p型A 10.1G a0.8N图 90, 100, 110, 120, 140, 160 AIGaN供価ペッファー職 G a o. o s N 多瓜母子井戸活性層 (2ペア) AINキャップ船 67, 127, 167 64, 124, 164 n型CaN路板 66, 126 65, 125 46,94 8 9 Ş

供道n型 A 10.1G 80.9Nパ n型 Ale.o1Gae.83N低値パップ n型AIGaN低値パッファ P型A 10.2 G a 0.8 Nクラッド層 n型A 10.1G a 0.8 Nクラッド層 A 10.07 G a 0.93 N语在图 121, 141 91, 101 ツファー層 114 111 113 理ーム 1 1 2

n型A 10.03 C 80.07 N動态

122, 142

20

|図19|| 従来の半導体レーザーを示す図でもる。

က
\vdash
6
4
N
က
1
N
0
0
2
鹰
华

(20)	

特開2002-324913

<u>(6</u>

I no. 05 G ao. 95 N / I no. 2 G ao. 8

N多重量子井戸構造の括性層

166 168

GaN/Alo.1Gao.9N多氫量子井

145 戸活性層

146

n型A 10.15G a 0.65Nクラッド層

143 144

33

n型 Alo.1Gao.8Nガイド層

p型A 10.3G ao.1Nキャップ画 p型A 10.2G ao.8N/G a N超格子

[図3]

|--|

電流狭窄リッジ構造

光田学塾园

203, 300, 500, 600

201, 202, 700 400, 800, 900

p型GaNコンタクト層

クラッド層 169 半導体レーザーの積層構

1000, 2000

162 n型lno.1Gao.9Nクラック防止層 163 n型Alo.2Gao.8N/GaN超格子 より成るクラッド圏

401, 402, 801, 802, 901, 902 光共短器檔面

10

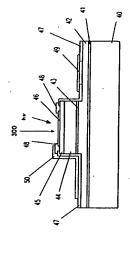
n型GaNより成る第2のパッファー

161

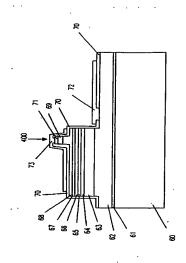
p型Alo.15Gao.85Nクラッド層

p型 Alo.1Gao.1Nガイド層 p型A 10.2G 80.8N層

[図4]



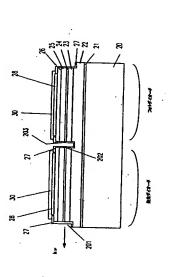
[図2]



[図1]



[图2]



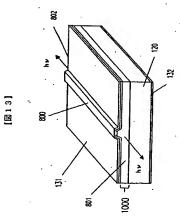
-20-

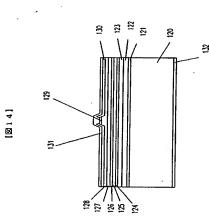
-22-

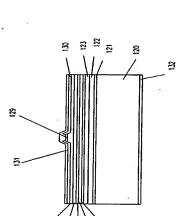
83

2000 T

[國16]







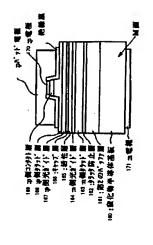
7 / 1 · 3 · 5 · 5 · 5

[図17]

¥1.

[图19]

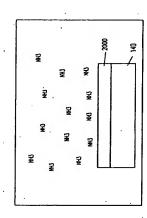
[図15]



-24-

-23-

[图18]



フロントページの統字

(72)発明者 三樹 剛 原東京都大田区中馬込1丁自3番6号 株式会社リュー内

ドターム(参考) 5F041 AA03 AA21 AA43 CA40 CA57 CA65 FF13 FF14 5F045 AA04 AB14 AB17 AC08 AC12 AD12 AD14 AF04 BB16 CA12 OA53 DA55 5F073 AA13 AA45 AA74 BA01 BA05 CA07 CB05 DA05 DA11 DA21

THIS PAGE BLANK (USPTO)

This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

□ BLACK BORDERS
□ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
□ FADED TEXT OR DRAWING
□ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
□ SKEWED/SLANTED IMAGES
□ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
□ GRAY SCALE DOCUMENTS
□ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
□ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

☐ OTHER:

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)